

显示技术的发展沿革

脱凡

兰州大学 信息科学与工程学院 兰州 730000

摘要:

关键词: 阴极射线管、液晶显示技术、发光二极管、等离子显示技术、有机发光二极管

The Development of Display Techonology

Tuo Fan

School of Information Science & Engineering, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China

Abstract:

Key words: CRT、LCD、LED、Plasma Display、OLED

在如今的信息时代,显示设备作为人类与信息设备沟通交流的重要输出设备,已经深入到了生活的每一个角落。本文将从几种主要的显示技术切入,从原理到历史再到其进化历程,介绍显示设备的发展与沿革;此外,本文也将介绍显示设备的几项关键性能指标,以说明如何量化其的清晰度、色彩、流畅程度以及对人健康的影响程度。

1 阴极射线管与 CRT 显示器

19 世纪 30 年代,迈克尔·法拉第发现了在对装在管内的稀薄气体通电时,管中会发出彩色的光,这就是辉光放电现象^[1]。19 世纪 70 年代,英国化学家兼物理学家威廉·克鲁克斯在制造出一个玻璃管,将其中的空气抽空并对其通电时却发现,如果空气稀薄到一定程度,那么管中便不会再产生光线,但是某种不可见的射线却会在管壁激发出绿色的荧光;这种射线被叫做“阴极射线”,而这些发出荧光的管子则被称作“阴极线管”,或是“克鲁斯管”^[2]。然而关于阴极射线究竟是何物的问题,在随后数十年却历尽辩驳,未能探明。克鲁克斯本人经过实验,认为阴极射线应该是一种带电粒子,却也难以证明。直到英国物理学家 J.J.汤姆逊也加入了着手解决这一问题的队伍中,他特制了一个克鲁克斯管(如图 1 所示),先通过狭缝 A、B 使射线聚拢,再在其中加入了两个极板: D 和 E,使其中产生电场,阴极射线在电场中发生了偏转,他因此确定:克鲁克斯的假想是正确的,阴极射线的确由是一种带负电的粒子组成的。他进一步通过改进设备、引入磁场,测定了阴极射线粒子的荷质比,因而确定了它是一种新的粒子,他将其命名为“电子”,也因而从此青史留名^[3]。

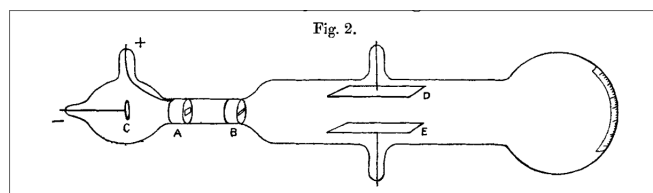


图 1 汤姆逊的特制克鲁克斯管^[3]

Fig.1 Thomson's Special Crookes' Tube

在汤姆逊利用克鲁克斯管发现了电子的同一年，德国物理学家费迪南德·布劳恩利用阴极射线发明了示波器，他发明的变形克鲁克斯管被叫做“布劳恩管”，他的示波器也被认为是阴极射线管首次被用作显示^[4]。

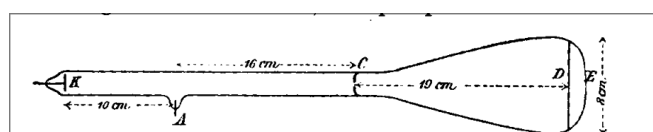


图 2 布劳恩管^[4]

Fig.2 Braun's Tube

1906 年 10 月，德国电物理学家亚瑟·科恩首次实现了照片传真，英国物理学家、发明家谢尔福德·彼得·威尔在了解此事后于 1907 年在《Nature》介绍了此项技术^[5]，并在次年于该刊发文，指出了“电视”发明的重重阻碍：除了发射端与接收端难以同步以外，电视还需要相比当时的技术快得多的传输速度来传输图像：每秒传输至少十张数万乃至数十万像素的图像^[6]；受他的启发，半个月后，英国电气工程师艾伦·阿奇贝尔德·坎贝尔·斯文顿也在《Nature》上发文，指出了可以怎样利用布劳恩管的原理，制造出被他称为所谓“远距离电视”的设备^[7]。具体来说，他认为可以在发射与接收端分别设阴极射线管，并让它们同步地偏转，分别对画面进行逐行的扫描、显示，便可以实现“远距离电视”。然而他也指出，为了达成这一效果，发射段需要具备在复杂的环境中以及非常快的扫描速度下区分出扫描图像时光电效应产生的光电子与其他干扰并正确传输到接收端的能力；在当时的技术下，哪怕图像都只有彼得·威尔所提出的像素的最小值(16000 像素)，想通过斯文顿的设想每秒远距离传输 10 张也是痴人说梦，因此斯文顿也提出，电视的发明亟须光电效应的改进。斯文顿本人在随后几年不断发表演讲完善他的电视系统，并在 1915 年被选为英国皇家学会院士。

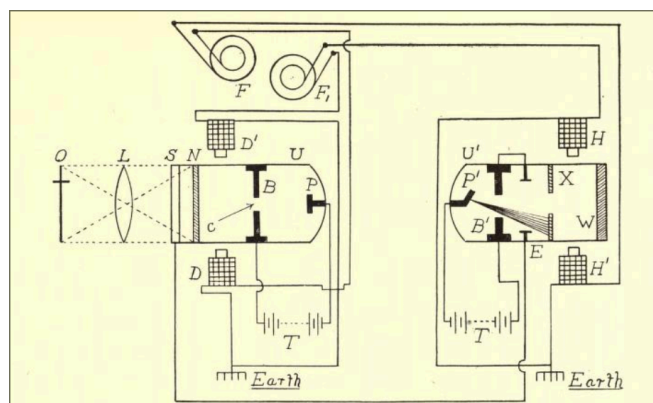


图 3 斯文顿的电视系统^[8]

Fig.3 Swinton's Television System

1922年,美国电气工程师J.B.约翰逊与哈里·韦纳·韦恩哈特发明了使用加热阴极的阴极射线管,这种射线管通过在阳极加热,使得在施加比原先低得多的电压的情况下,电极就能释放更多的电子,从而产生更大的电流^[9],这项技术在发明后就随即投入商用。他们研发的这种阴极被称作“热阴极”。

在西屋电气工作的俄裔美籍科学家弗拉基米尔·科斯基·兹沃雷金设计了一套完整的电视系统,并在1923年申请了专利,又于1925年做了些许修改并重新发表^[10],他在1929年将阴极射线管显示技术命名为CRT,他的雇主RCA公司则在1932年为这一技术注册了商标,名叫“显像管”。

1926年,日本滨松高等工业学校(后与另几所学校合并为静冈大学)的助理教授高柳健次郎制造出了一个电视信号接收器,并在世界上首次实现了电视信号的接收:他以四十线的清晰度传输了一个日语中的“イ”假名。两年后,他在日本《电气学会杂志》上发文介绍了自己的实验成果^[11]。

1927年,美国发明家费罗·法恩斯沃斯制造出了一整套可运行的电视原型机,他的这一套系统的突破之处在于其中的“图像解析器”,这种同样基于阴极射线管的设备被认为是最早的摄像管^[12]。

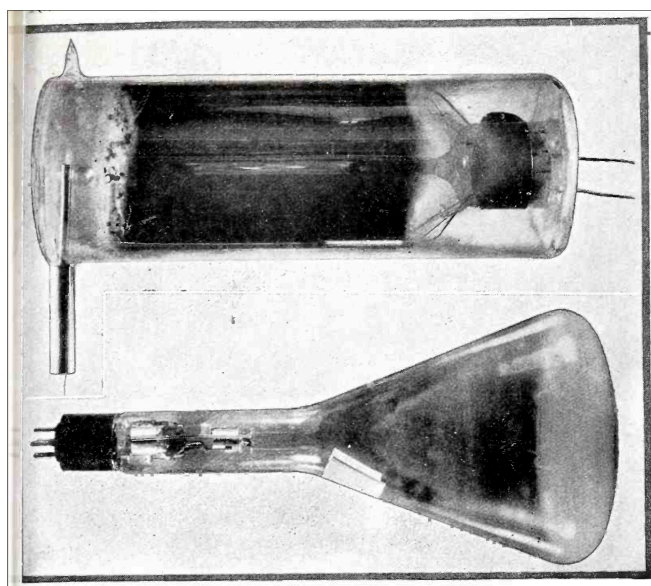


图 4 法恩斯沃斯的“图像解析器”^[13]

Fig.4 Farnsworth's "Image Dissector"

在经过多年的发展后，德国德律风根公司在 1934 年首次将基于 CRT 技术的电视量产并投入了市场。黑白的 CRT 电视在随后数十年历经发展，但其原理并未与早期的产品甚至原型机有太大的差异，主要是通过材料等的改进使得屏幕更大、更亮。



图 5 德律风根公司的 FE-I 型电视

Fig.5 FE-I Television made by Telefunken

下图是一个黑白 CRT 显示器的剖面视图，从中可以较为清晰地认识这类产品的结构与原理。图中 5 即为阴极，在经过加压、加热后释放电子；电子在 U 形磁铁 11 与聚焦线圈 3 的作用下汇聚于被称为“电子枪”的真空区域 2 之中，形成阴极射线，射线又在偏转线圈 1 的控制之下打向荧屏内侧；荧

屏内侧涂有荧光物质，经阴极射线轰击后便会发光。偏转线圈控制阴极射线逐行扫过荧屏的每一行，整幅图像便因而显示出来。由于逐行扫描的原理，CRT 显示设备在水平方向上是平滑的，对于其清晰度的衡量只能依靠竖直方向上的扫描线个数，而无具体可数的像素数，这一特性对清晰度描述方法的影响一直延续到今天，人们依然习惯于“720p”、“1440p”这样只以一边描述清晰度的方式。

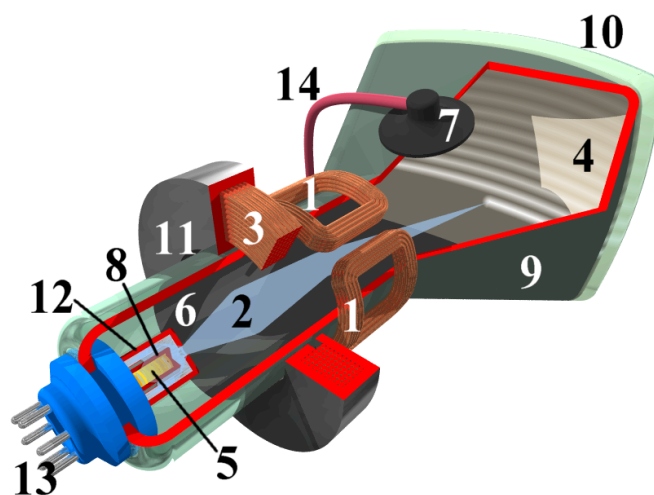


图 6 黑白 CRT 的简化结构图^[14]

Fig.6 Simplified Structure of a Monochrome CRT

20 世纪 4、50 年代，美国两大广播公司 RCA 与 CBS 在彩色 CRT 领域展开了一场较量，这种技术通过在荧屏上分区域涂抹分别对应三原色的三种荧光物质，使用三把电子枪分别轰击，CRT 实现了对彩色的显示。CBS 公司首先研制出了这种技术，使得 FCC 在 1950 年将他们的技术认定为行业标准。然而他们在市场上却未占得先机：1954 年，RCA 公司利用自家生产的 15GP22 显像管制造出了第一款量产彩色 CRT 电视:CT-100，并在市场占据了主导地位。同时由于 RCA 公司的技术更为先进，他们的技术也取代 CBS 的方案成为了新的 FCC 标准。

然而，三种颜色的荧光物质相邻地涂抹在一起，如不加以区分显然会互相干扰；RCA 公司的方案是在显像管与荧屏之间增加一层“荫罩”，上面铺满了点状的小孔，使得发射的电子不会被打到各颜色点之间的位置。这种方法虽然的确解决了原有的问题，但额外的“荫罩”却也使得很大一部分打出的电子被滤除，使得图像显得十分暗淡。

回旋加速器的发明者欧内斯特·劳伦斯注意到了这个问题，他发明了“Chromatron”技术，这种技术在荧屏后方安装了高压导线，通过高压导线产生的电场引导电子聚焦到正确的荧光物质之上，使得发出的电子不再被浪费^[15]。加州大学伯克利分校为他专门设立了“Chromatic 电视实验室”，用以研究这项技术。

1960 年，此前一直深耕录音机领域的日本索尼公司发布了他们的第一款黑白电视。次年，索尼联合创始人盛田昭夫(索尼公司由井深大与盛田昭夫两人联合创办，两人都被称为联合创始人)与“随声听之父”木原信敏前往纽约参加 IEEE 展销会，他们在那里看到了一台基于 Chromatron 技术的彩色电视并为之所震撼，参展的第二天，盛田昭夫就签合约买下了这项专利的授权。

买下授权后，索尼公司便成立团队准备在此基础上展开研发。然而采用 Chromatron 技术的产品虽然光鲜亮丽，其生产却难于登天，索尼公司每试产一千台样品，其中能正常工作的竟然只有 1 到 3 台。尽管索尼投入巨资意图改进，这种产品的研发却只像是无底洞，只见投入不见产出。

1966 年，在停止研发和公司破产的抉择之中，井深大选择了停止这一项目，转而开发 Chromatron 技术的替代品。索尼的工程师在通用电气的方案启发下，将三个阴极放在一个电子枪中，并利用带有竖直条纹的“格栅”代替“荫罩”，使得电子利用率大大提高。这种技术下生产的彩色电视效果远胜于其他产品，索尼将其命名为“特丽珑”，首款量产产品在 1968 年面世。

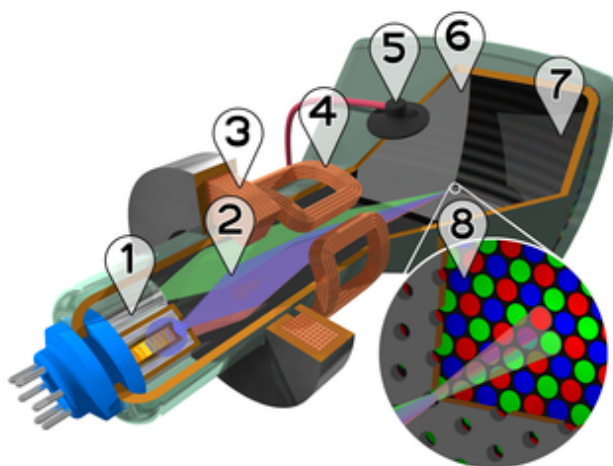


图 7 特丽珑的结构^[14]

Fig.7 Structure of Trinitron

尽管计算机的历史几乎与 CRT 一样悠久，但是早期的计算机并不常与显示设备相伴。而个人计算机(后称 PC)这种设备则是从诞生之初便与显示设备紧密相连，在一些 PC 先驱的早期畅想中，甚至有人把 PC 机看作是“电视打字机”^[16]。足以及得显示设备对于一台个人计算机的重要程度。

在特丽珑发明之后，CRT 技术再鲜有新的跨越式进步，但 CRT 显示设备直至 21 世纪肇始都一直把握着显示领域的绝对霸主地位，直到 LCD 等新技术发展壮大，将它彻底取代。

CRT 技术之所以被取代，其根本原因在于它存在一些难以解决的弊端。庞大的电子枪使得 CRT 设备的体积难以缩小，乃至被称作“大屁股”；扫描的原理也使得它在显示中无可避免的存在明显的闪烁，伤害用户的用眼安全；另外 CRT 设备提高刷新频率会带来画面变形，妨害用户对流畅的追求。

2 LCD 和 LED

1888 年，奥地利植物学家弗里德里希·莱尼泽在研究胆固醇的衍生物时，从胡萝卜中提取到了一种性质奇特，被称作“苯甲酸胆固醇酯”的物质；这种物质很早就被其他科学家注意到当它的温度恰好在比结冰略高一点时，它的颜色便会发生变化。然而那些科学家却并没有对这种特性太在意。而莱尼泽在进行进一步研究后，发现这种物质的特殊之处远不止此：这种物质具有两种熔点，在 145.5 摄氏度时会熔化为浑浊的液体，而在 178.5 摄氏度时则会进一步熔化，变成清澈的液体。莱尼泽随后与彼时正在亚琛市当编外讲师的德国物理学家奥托·雷曼取得联系；奥托随后对这种物质进行研究，通过观察在第一个熔点中形成的浑浊液体并在其中观察到晶粒，他判定这种物质是以晶态存在的。同年 5 月，莱尼泽发表了初步研究成果^[17]。他同时也指出了他认为这一类物质具有的三项特性：有两个熔点、能发生圆偏振、偏振光会旋转，而此时“液晶”一词甚至都还未被提出。

作为植物学家，莱尼泽在物理领域渐觉无力；而雷曼则认识到这或许是他创造历史的一个机会，他接过了接力棒，开始深入对液晶材料的研究。利用在博士后期间学到的晶体学和显微学（彼时显微镜普及程度远不及今天）知识，他得以对苯甲酸胆固醇酯进行进一步的深入分析，他很快发现这种物质在第一个熔点下熔化产生的浑浊液体除了能流动以外，其他性质都与固体别无二异。这实际上已经确定了液晶的两个基本性质：液态且有晶体结构。1889 年，他将他的阶段性成果发表到了德国《物理化学学报》^[18]。他在这篇文章中首次提到了液晶（实际上 1904 年雷曼才正式提出了“液晶”这一命名，此时他称其为“流动晶体”）的相的问题，后续的各种研究则确证那在第一个熔点产生的“流动晶体”其实并非液体，而是一种新的相（物质状态）。

德国化学家丹尼尔·福尔兰德尔在液晶研究上也做出了突出贡献，从 20 世纪初到 1935 年退休，他将那时能找到的几乎所有液晶材料都依次分析研究了一遍。

然而在此后数十年，液晶领域的研究却几近停滞，只剩英国有机化学家乔治·W·格雷在这个领域单枪匹马地奋斗。他和他格拉斯哥大学的团队分析了更多会达到液晶态的物质，得出了有关如何设计能达到液晶态的物质的理论。格雷在 1962 年出版了《液态晶体的分子结构与性质》，这本著作终于吸引到了更多人研究液晶。1965 年，美国物理学家格伦·H·布朗在俄亥俄州的肯特市举办了首届国际液晶会议。

1962 年，RCA 公司的物理学家理查德·威廉姆斯在给一种向列项液晶通电时，发现它会自动形成一种标准形态，这种状态被他称作“畴”（后来被称作“威廉姆斯畴”）；这一发现使得液晶物质立即成为了前沿显示技术研究的焦点。

他的同事，IEEE 高级会员（之后他因为这项发明成为了 IEEE 会士）乔治·H·海尔迈耶是其中的先驱，海尔梅耶首先实现了通过场诱导的在垂直排列的液晶物质的二色性染料的重新排列来转变颜色。他随即开始深入研究这种散射，并提出了“动态散射模型”(DMS)^[19]。然而此时他采用的是一种叫做 4,4'-二甲氧基氧化偶氮苯的液晶物质，这种物质要在高达 116 摄氏度的高温才会达到液晶态，这使得这时的液晶显示技术难以投入实际生产。1968 年，RCA 公司在纽约洛克菲勒中心召开新闻发布会公开了这项技术^[20]，吸引了大量的科学家加入了液晶研究的队伍。

事情很快迎来了转机，60 年代末，在英国皇家雷达研究所的支持下，前面提到的英国化学家乔治·W·格雷发现了氰基联苯液晶，这种液晶物质在室温下便为液晶态，使得液晶显示走进千家万户成为可能。

从液晶到液晶显示，其中还有一项关键的技术，那就是偏振片。在此处我们首先对偏振现象做一个简单介绍。电磁波、引力波等波被称为横波，因为其传播方向与振动方向相垂直。而这种波具有向各个方向传播的特性，这种特性便是偏振现象。而偏振片则是通过精巧的物理结构，将对应方向的偏振波吸收（严格地来说这里介绍的只是偏振片的一种，还有一种偏振片则是将混在一起的波按传播方向分开）。法拉利正是利用偏振现象证明了光是一种电磁波（本文不讨论波粒二象性）。

参考文献

- [1] M. Faraday, "VIII. Experimental researches in electricity.—thirteenth series," Philos. Trans. R. Soc. Lond., vol. 128, no. 0, pp. 125–168, Dec. 1838.
- [2] W. Crookes, "V. The Bakerian Lecture.—On the illumination of lines of molecular pressure, and the trajectory of molecules," Philos. Trans. R. Soc. Lond., vol. 170, no. 0, pp. 135–164, Dec. 1879.
- [3] J. J. Thomson, "XL. Cathode Rays," Lond. Edinb. Dublin Philos. Mag. J. Sci., vol. 44, no. 269, pp. 293–316, Oct. 1897.
- [4] F. Braun, "Ueber ein Verfahren zur Demonstration und zum Studium des zeitlichen Verlaufes variabler Ströme," Annalen der Physik, vol. 296, no. 3, pp. 552–559, Jan. 1897, doi: 10.1002/andp.18972960313.
- [5] S. BIDWELL, "Practical Telephotography," Nature, vol. 76, no. 1974, pp. 444–445, Aug. 1907, doi: 10.1038/076444c0.

- [6] S. BIDWELL, "Telegraphic Photography and Electric Vision," *Nature*, vol. 78, no. 2014, pp. 105–106, Jun. 1908, doi: 10.1038/078105a0.
- [7] A. A. C. SWINTON, "Distant Electric Vision," *Nature*, vol. 78, no. 2016, p. 151, Jun. 1908, doi: 10.1038/078151a0.
- [8] M. J. Martin, *The Electrical Transmission of Photographs*. Sir I. Pitman & sons, Limited, 1921.
- [9] J. B. Johnson, "A Low Voltage Cathode Ray Oscillograph," *Journal of the Optical Society of America*, vol. 6, no. 7, p. 701, Sep. 1922, doi: 10.1364/josa.6.000701.
- [10] V. K ZWORYKIN, "Television System," no. US-1691324-A. 1925.
- [11] 高柳健次郎, "Television の 實驗," *電氣學會雜誌*, vol. 48, no. 482, pp. 932–942, 1928.
- [12] P. T Farnsworth, "Television System," no. US1773980A. 1927.
- [13] P. T Farnsworth, "Scanning With An Electric Pencil," *Television News*, pp. 48–51, Apr. 1931.
- [14] Wikipedia, "Cathode-ray tube — Wikipedia, The Free Encyclopedia." 2024.
- [15] E. O Lawrence, " Cathode ray focusing apparatus," no. US2692532A. 1951.
- [16] D. Lancaster, "TV Writer," *Radio-Electronics*, 1973.
- [17] F. Reinitzer, "Beiträge zur Kenntniss des Cholesterins," *Monatshefte für Chemie - Chemical Monthly*, vol. 9, no. 1, pp. 421–441, Dec. 1888, doi: 10.1007/bf01516710.
- [18] O. Lehmann, "Über fließende Krystalle," *Zeitschrift für Physikalische Chemie*, no. 1, pp. 462–472, Jul. 1889, doi: 10.1515/zpch-1889-0434.
- [19] G. Heilmeyer, L. Zanoni, and L. Barton, "Dynamic scattering: A new electrooptic effect in certain classes of nematic liquid crystals," *Proceedings of the IEEE*, vol. 56, no. 7, pp. 1162–1171, 1968, doi: 10.1109/proc.1968.6513.
- [20] H. Kawamoto, "The Inventors of TFT Active-Matrix LCD Receive the 2011 IEEE Nishizawa Medal," *Journal of Display Technology*, vol. 8, no. 1, pp. 3–4, Jan. 2012, doi: 10.1109/jdt.2011.2177740.